اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر حاصل از اختلاط آرد گندم و آرد جو بدون پوشینه

کیانا پورمحمدی[۱*]، مهران اعلمی[۲]، محمد شاهدی[۳] و علیرضا صادقی ماهونک[۲]

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۲۱ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۲۱

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲-استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳-استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان
*مسئول مکاتبه: kianapourmohammadi@yahoo.com

چکیده

آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی جزء آنزیم های ترانسفراز می‌باشد که می‌تواند بین اسید آمینه‌ی گلوتامین از یک پروتئین و لایزین از پروتئین دیگر اتصالات عرضی ایجاد کند. در این تحقیق، اثر این آنزیم بر ویژگی های رئولوژیکی خمیر حاصل از آرد گندم حاوی ۲۰، ۳۵ و ۵۰٪ از آرد جو بدون پوشینه به کمک دستگاه های فارینوگراف و اکستنسوگراف بررسی شد. آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی در سطوح ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲٪ به نمونه های آرد اضافه شد، و به منظور افزایش میزان اسید آمینه لایزین به عنوان سوبسترای آنزیم، ایزوله پروتئینی سویا به میزان ۳٪ مورد استفاده قرار گرفت. آزمون اکستنسوگرافی نشان داد که افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی باعث افزایش مقاومت به کشش خمیر ها و کاهش کشش پذیری آن ها می شود. از سوی دیگر آزمون فارینوگرافی نشان داد در نمونه های خمیر حاوی آرد گندم و خمیر حاوی ۲۰ ٪ آرد جو، با افزایش درصد آنزیم، جذب آب افزایش یافت. در نمونه های حاوی ۳۵ و ۵۰٪ آرد جو بدون پوشینه، زمان گسترش خمیر در نمونه های تیمار شده با آنزیم بیشتر از نمونه شاهد بود. پایداری خمیر در نمونه های حاوی آرد گندم و نمونه های حاوی ۲۰٪ آرد جو بدون پوشینه، با افزایش آنزیم تا ۱٪ افزایش یافت. در نمونه های حاوی ۵۰٪ آرد جو بدون پوشینه با افزایش آنزیم تا ۱/۵و ۲٪، پایداری خمیر افزایش یافت. فاکتور مقاومت به مخلوط شدن نیز در خمیر های گندم، ۲۰٪ و ۳۵٪ با افزایش آنزیم به ۰/۵٪، کاهش یافت. بنابراین، آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی تا سطوح مشخصی، می تواند باعث بهبود ویژگی های رئولوژیکی خمیر نان شود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی، ایزوله پروتئینی سویا، آرد گندم، آرد جو بدون پوشینه، رئولوژی خمیر

Effect of microbial transglutaminase on dough rheological properties of wheat flour supplemented with hull-less barley flour

K Pourmohammadi, [1*], M Aalami [2], M Shahedi [3] and A Sadeghi Mahoonak [2]

Received: September 12, 2010 Accepted: January 11, 2011
[1]MSc Student, Dept. Food Science and Technology, Gorgan Agricultural University, Gorgan, Iran
[2]Assistant Professor, Dep. of Food Science and Technology, Gorgan Agricultural University, Gorgan, Iran
[3]Professor, Dept. Food Science and Technology, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
[*]Corresponding author: E mail: kianapourmohammadi@yahoo.com

Abstract
Microbial transglutaminase (MTG) catalyzes the formation of ε – (δ glutamyl -)- lysine cross links in proteins via an acyl transfer reaction. In this study, the impact of microbial transglutaminase (MTG) on dough rheological properties of wheat flour supplemented with 20, 35 and 50% of hull-less barley flour was investigated. The MTG was added at five different levels (0. 0.5%, 1%, 1.5% and 2%; w/w) to increase the concentration of lysyl residues and possibly enhance the extent of cross-linking of protein matrix by MTG, a commercial soy protein isolate (SPI) was added at a level of 3% (w/w) in combination with MTG. Extensography results showed that increasing MTG concentration increases the resistance to extension and decreases the extensibility. Farinography results indicated that in flours with 35 and 50% of hull-less barley flour, with increasing MTG doses, dough development time was increased. Addition of MTG in a concentration of 1% in 20% of hull-less barley led to an increase in dough stability time in farinograph. In 50% of hull-less barley treatment, addition of MTG in concentration up to 1.5% and 2% caused an increase in dough stability time. Mixing tolerance index was decreased with increasing MTG up to 0.5%. In overall, MTG can improve the rheological properties of dough when it is used in an optimum level.

Keywords: Dough Rheology, Hull less Barley Flour, Soy Protein Isolate, Transglutaminase, Wheat flour

مقدمه

در سال های اخیر بهبود ویژگی های تغذیه ای نان گندم بسیار مورد توجه قرار گرفته است، که این عمل از طریق اختلاط آرد گندم با آرد های مختلف انجام می شود و باعث افزایش ترکیبات معدنی، ویتامین ها، پروتئین و فیبر های رژیمی در فراورده نهایی می گردد. جو بدون پوشینه در مقایسه با سایر غلات مانند گندم، چاودار و یولاف اهمیت کمتری در رژیم غذایی امروزه پیدا کرده است، ولی ویژگی های تغذیه ای بسیار خوب این غله به لحاظ وجود فیبر محلول بتا گلوکان، باعث توجه بیشتر به غذاهای جدید حاوی جو شده است (بتی، ۱۹۹۹ ؛ گراندو، ۲۰۰۰). پروتئین جو بدون پوشینه به دلیل عدم توانایی در تشکیل شبکه‌ی پروتئینی قوی در خمیر، نمی‌تواند نانی مطلوب، معادل نان گندم تولید کند.

آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (MTG) که به نام EC 2.3.3.13 نیز شناخته می شود، جزء آنزیم های ترانسفراز می‌باشد که به طور گسترده ای در طبیعت وجود دارد. تا قبل از سال ۱۹۸۹ آنزیم ترانس گلوتامیناز، از کبد خوک استخراج می شد ولی تحقیقات، منجر به شناسایی یک منبع میکروبی برای تولید آنزیم مذکور گردید. این آنزیم از یک گونه مهم باکتریایی به نام استرپتوورتیسیلیوم[1]، استخراج و خالص سازی شد. MTG فرایندآسیل ترانسفراز را کاتالیز می کند و

باندهای کووالانسی بین پروتئین ها ایجاد می‌نماید. این پیوندها شامل اتصالات عرضی بین لایزین از یک پروتئین و گلوتامین از پروتئین دیگر می‌باشد. پیوند حاصل، مشابه سایر پیوندهای پپتیدی است و با ایجاد این پیوند هیچ کاهشی در ارزش تغذیه‌ای پروتئین حاصل بوجود نمی‌آید (کورایشی و همکاران، ۲۰۰۱ ؛ موتوکی و سگارو، ۱۹۹۸).

در این تحقیق سعی بر آن است که آرد گندم و جو بدون پوشینه را به نسبت‌های مختلف با هم مخلوط کرده و با بهره‌گیری از عملکرد منحصر به فرد آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و اثر آن در ایجاد اتصال بین پروتئین‌های گندم و جو، ویژگی های رئولوژیکی آن را مورد مطالعه قرار دهیم. پروتئین‌های سویا مانند گلوبولین های ۱۱S و ۷S سوبسترای مناسبی برای عملکرد آنزیم می باشند. از طرفی، پروتئین های گلوتن گندم غنی از اسید آمینه گلوتامین (حدود یک سوم کل اسید آمینه ها ی گندم) می باشند ولی از نظر اسید آمینه لایزین فقیر هستند، در حالی که پروتئین های سویا غنی از اسید آمینه لایزین می باشند. بنابراین ایزوله پروتئینی سویا می‌تواند سوبسترای مناسبی برای آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی باشد (اعلمی و لیلاواتی، ۲۰۰۸). انتظار می رود این آنزیم به دلیل ایجاد شبکه گسترده پروتئینی بتواند به کمک ایزوله پروتئینی سویا اثرات مطلوبی بر ویژگی های رئولوژیکی خمیر بگذارد. خمیر حاصل نیز می تواند در تهیه نان جو بدون پوشینه مورد استفاده قرار گیرد و ضمن بهره مندی از کیفیت مطلوب آن، از ویژگی‌های تغذیه‌ای آن به عنوان غذای فراسودمند[2] نیز استفاده نمود.

مواد و روش ها

۲-۱- مواد اولیه و آزمون های مربوطه

در این تحقیق رقم گندم زرین از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی شیراز و رقم جو بدون پوشینه EHDS 18 از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی اصفهان تهیه شد. سپس دانه های گندم و جو آسیاب گردید و برای دانه و آرد حاصل از گندم و جو بدون پوشینه آزمون های فیزیکی و شیمیایی انجام شد. آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی از شرکت آژینوموتو[3] ژاپن، و ایزوله پروتئینی سویا از شرکت **سول**[4] (هندوستان) تهیه شد.

ویژگی‌های فیزیکی ارقام گندم و جو شامل وزن هزار دانه، وزن هکتولیتر، سختی دانه، چگالی نسبی، رنگ و ابعاد دانه اندازه گیری شد. برای تعیین وزن هزار دانه، از سینی مخصوص به نام دانه شمار پانصد تایی استفاده گردید. با دو بار استفاده از این سینی وزن هزار دانه بدست آمد (AACC به شماره ۳۱-۵۵). وزن هکتولیتر دانه های ارقام گندم و جو با دستگاه مخصوص هکتولیتر که دارای ظرف استوانه ای شکل به گنجایش یک لیتر است، اندازه گیری شد (AACC به شماره ۱۰-۵۵). برای اندازه گیری چگالی نسبی دانه های گندم و جو از پیکنومتر و تولوئن استفاده شد (فروزان تبار، ۱۳۸۴). سختی دانه با استفاده از دستگاه اینستران (مدل ۱۱۴۰، انگلستان) و مجهز به پروب ۲۵ میلی متری و با سرعت ۱۰۰ میلی متر بر دقیقه تعیین گردید (فروزان تبار، ۱۳۸۴). رنگ نمونه‌های آرد با دستگاه هانتر لب (مدل دیتا کالر، آمریکا) اندازه گیری شد (ابوتراب، ۱۳۸۶).

ویژگی‌های شیمیایی آرد شامل رطوبت، خاکستر، پروتئین، فیبر خام، عدد فالینگ، شاخص گلوتن و گلوتن مرطوب مطابق روش های استاندارد AACC به شماره های ۱۶-۴۴، ۰۱-۰۸ ، ۱۲-۴۶، ۱۷-۳۲، ۸۱-۶۵، ۱۲-۳۸ انجام شد (AACC، ۲۰۰۰)

ویژگی‌های اکستنسوگرافی (کششی) آرد گندم و مخلوط آرد گندم و آرد جو بدون پوشینه با استفاده از دستگاه اینستران (مدل ۱۱۴۰، انگلستان) تعیین گردید (ابوتراب، ۱۳۸۶). ابتدا دستگاه برای حالت کششی کالیبره شد و برای انجام این آزمون، خمیر به شکل استوانه ای طویل به قطر ۲ سانتی متر تهیه گردید، سپس روی چنگک دستگاه ارزیابی بافت قرار داده شد. پس از روشن شدن دستگاه، چنگک به سمت بالا حرکت کرده و خمیر را از وسط به بالا کشید و با توجه به مقاومت به کشش خمیر منحنی رسم گردید. فاکتورهایی که در این

1- *Streptoverticillium*
2- Functional food
3- Ajinomoto
4- Sole

آزمون تعیین شد عبارتند از: حداکثر مقاومت به کشش (R_{max}) و کشش پذیری (E). حداکثر ارتفاع منحنی (N)، نشان دهنده مقاومت خمیر به کشش می باشد و طول منحنی بر حسب سانتی متر، قابلیت کشش یا همان کشش پذیری است.

ویژگی‌های فارینوگرافی آرد گندم و مخلوط آرد گندم و آرد جو بدون پوشینه با استفاده از دستگاه فارینوگراف (مدل برابندر رزیستوگراف، آلمان) با مخلوط کن ۵۰ گرمی و بر طبق روش استاندارد AACC به شماره ۲۱-۵۴ تعیین گردید (AACC ، ۲۰۰۰).

۲-۲- آزمون اکستنسوگرافی

آردهای گندم و مخلوط ۲۰، ۳۵ و ۵۰٪ از آرد گندم و جو بدون پوشینه، با سطوح ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲٪ همچنین ۱٪+۳٪ ایزوله پروتئینی سویا و ۱/۵٪+ ۳٪ ایزوله پروتئینی سویا تیمار شدند و طبق دستور رایج تهیه نان در بازار به آن ها ۱/۵٪ نمک، ۱/۵٪ شکر، ۱/۲٪ مخمر و ۰/۴٪ بهبود دهنده اضافه شد. خمیر ها به منظور استراحت، به مدت یک ساعت در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی ۳۲٪) نگهداری شدند و به کمک دستگاه اینستران نیروی کششی بر آن ها اعمال شد.

۲-۳- روش آماری تحلیل داده‌ها

در این تحقیق، تجزیه و تحلیل نتایج در قالب طرح فاکتوریل بر پایه بلوک کاملا تصادفی و تمامی آزمون ها در ۳ تکرار انجام شد. برای مقایسه ی میانگین تیمار ها از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (دانکن) در سطح احتمال ۵٪ استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویژگی‌های فیزیکی گندم، جو و آرد

نتایج آزمون‌های فیزیکی گندم، جو بدون پوشینه و آرد حاصل از آن ها در جدول ۱ آورده شده است. نتایج نشان داد که وزن هکتولیتر گندم به طور معنی داری بیشتر از جو بدون پوشینه و سختی رقم جو بدون پوشینه به طور معنی داری بیشتر از گندم مورد مطالعه بوده است. وزن هزار دانه جو به طور معنی داری بیشتر از گندم است، ولی چگالی نسبی آن ها با یکدیگر تفاوت معنی دار دارند. نتایج رنگ سنجی آرد ها نشان داد که تفاوت معنی داری بین ویژگی های رنگی گندم و جو بدون پوشینه وجود نداشت، در واقع تیرگی آرد گندم به دلیل وجود مقدار زیادی سبوس در آن است. نتایج اندازه گیری ابعاد نشان داد که ضخامت دانه های گندم و جو با یکدیگر تفاوت معنی داری ندارند ولی طول جو بدون پوشینه بیشتر از گندم است.

۳-۲- ویژگی های شیمیایی آرد

نتایج آزمون‌های شیمیایی برای گندم و جو بدون پوشینه در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد که درصد فیبر و پروتئین موجود در جو بدون پوشینه به طور معنی داری بیشتر از گندم می باشد که این نشان دهنده مطلوب تر بودن ویژگی های تغذیه ای جو بدون پوشینه مورد مطالعه در این تحقیق است (بتی، ۱۹۹۹). میزان خاکستر دانه های جو بدون پوشینه و گندم برابر است. میزان خاکستر جو پوشینه دار به مراتب بالاتر از میزان آن در جو بدون پوشینه می باشد. لذا به نظر می رسد که استفاده از جو بدون پوشینه (به جای جو پوشینه دار) در فرمولاسیون نان اثر نامطلوب از نظر مقدار خاکستر آن نداشته باشد. بالا بودن میزان خاکستر آرد گندم استفاده شده نیز به دلیل وجود مقدار زیاد سبوس آن است. نتایج اندازه گیری پارامترهای گلوتن و شاخص گلوتن نشان دهنده عدم وجود گلوتن در خمیر حاصل از آرد جو بدون پوشینه است که می تواند یکی از دلایل خاصیت نانوایی ضعیف این غله باشد. البته شاید بتوان آن را بعنوان ماده اصلی برای تهیه نان برای بیماران سلیاکی استفاده کرد. نتایج عدد فالینگ بیانگر این است که گندم و جو از نظر فعالیت آنزیم آلفا – آمیلاز در حد مطلوب جهت تولید نان تخمیری می باشند.

جدول ۱- نتایج آزمون های فیزیکی بر روی دانه های ارقام گندم و جو بدون پوشینه

نمونه / ویژگی	جو بدون پوشینه	گندم
طول (سانتی متر)	۰/۷۰±۰/۰۵ a	۰/۳۱±۰/۰۴ b
عرض(سانتی متر)	۰/۲۵ ± ۰/۰۲ a	۰/۲۷ ± ۰/۱۷ a
ضخامت(سانتی متر)	۰/۳۳ ±۰/۰۵ a	۰/۳۱ a
وزن هزار دانه (گرم)	۳۴/۷۶ ±۰/۸۴ a	۳۱/۶۵ ± ۰/۱۴ b
وزن هکتولیتر (کیلوگرم بر هکتولیتر)	۷۵/۵۲ ± ۰/۰۷ b	۸۴/۴۲ ± ۰/۵۶ a
چگالی نسبی	۱/۲۲ a	۱/۱۷ b
سختی دانه (گرم بر میلی متر مربع)	۲۲/۵۱± ۰/۰۳ a	۱۵/۰۷ ± ۰/۱۵ b
L*	۸۸/۱۰ ±۰/۲۱ a	۸۷/۲ ±۰/۰ ۷ a
a*	۱/۷۰± ۰/۱۳ a	۱/۵۶ ± ۰/۰۲ a
b *	۱۲/۷۵ ± ۰/۱۷ a	۱۱/۸۷±۰/۰۴ a

* حروف غیر مشترک نشان دهنده ی اختلاف آماری در سطح ۰/۰۵ است.

جدول ۲- نتایج آزمون های شیمیایی برای آرد گندم و جو بدون پوشینه

رقم	گندم	جو بدون پوشینه
رطوبت(٪)	۵/۵۲ ± ۰/۰۸ a	۶/۸۷± ۰/۰۸ a
خاکستر(٪)	۱/۹ ± ۰/۰۷ a	۱/۹ ± ۰/۰۶ a
پروتئین(٪)	۱۴/۷۵ ± ۰/۱۴ b	۱۵/۲ ± ۰/۱۴ a
گلوتن مرطوب(٪)	۲۷ ± ۰/۷ a	. b
شاخص گلوتن(٪)	۵۰ ± ۰/۷ a	. b
عدد فالینگ (ثانیه)	۳۶۸ ± ۵/۶۵ a	۳۲۱/۵ ± ۲/۱۲ b
فیبر(٪)	۱/۹ ± ۰/۰۳ b	۲/۸ ± ۰/۱۲ a

* حروف غیر مشترک نشان دهنده ی اختلاف آماری در سطح ۰/۰۵ است.

۳-۳- اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و ایزوله پروتئینی سویا بر ویژگی های اکستنسوگرافی خمیر

نتایج آزمون اکستنسوگرافی در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که افزودن MTG باعث افزایش مقاومت به کشش خمیر ها و کاهش کشش پذیری آن ها می شود. اتصالات عرضی تشکیل شده توسط آنزیم MTG، بر ساختار شبکه ی گلوتنی و در نتیجه ویژگی های ویسکوالاستیکی خمیر تاثیر مثبت می گذارد. کاهش کشش پذیری در خمیر ها به دلیل اتصالات بیشتر و قوی تر بین پروتئین ها و در نتیجه ایجاد خمیر قوی تر می باشد که باعث سریع تر پاره شدن خمیر می شود. در واقع در اثر اتصالات شدید تر و قوی تر، خمیر بیشتر همانند یک جسم نیمه جامد عمل می کند تا یک ماده ویسکوالاستیک. همچنین در این حالت به دلیل کاهش ویژگی های ویسکوز خمیر، کرنش غیر قابل بازگشت، نسبت به کرنش برگشت پذیر کاهش می یابد (بائر و همکاران، ۲۰۰۳). با افزودن مقادیر کمی از آنزیم MTG ماکزیمم کرنش خمیر کاهش می یابد (لار و همکاران، ۲۰۰۰). استفاده از مقادیر بسیار زیادی از آنزیم MTG ، شبکه پروتئینی را شکننده می کند و باعث تضعیف ساختار آن می شود (کورایشی و همکاران، ۲۰۰۱). در سطح مولکولی، در اثر افزودن آنزیم MTG جزء گلیادین که به عنوان پلاستیسایزر (نرم کننده) و افزایش دهنده قابلیت فرم گیری عمل می

کنند، ایجاد اتصالات عرضی می کنند و می توان نتیجه گرفت مقادیر زیادی از آنزیم MTG باعث توزیع گلوتن خمیر می شود (بائر و همکاران، ۲۰۰۳).

افزودن ایزوله پروتئینی سویا (SPI) باعث فراهم آمدن سوبسترای بیشتر برای آنزیم MTG می شود و در نتیجه لایزین و گلوتامین بیشتری می توانند با یکدیگر اتصال بر قرار کنند و شبکه گسترده تر و قوی تری را به وجود آورند (موتوکی و سگارو، ۱۹۹۸)، در نتیجه با افزودن ایزوله پروتئینی سویا، مقاومت به کشش خمیر افزایش، و کشش پذیری آن کاهش می یابد، که این پدیده، با ایجاد اتصالات عرضی و در نتیجه شبکه ی پروتئینی قوی تر قابل توجیه است. در خمیر گندم و خمیر های حاوی ۲۰، ۳۵ و ۵۰٪ آرد جو بدون پوشینه، خمیر گندم و خمیر حاوی ۲۰٪ آرد جو بدون پوشینه در فاکتور مقاومت به کشش و کشش پذیری، تفاوت معنی داری ($p<$ ٪۰/۰۵) با یکدیگر نداشتند در حالیکه تفاوت آن ها با خمیر های حاوی ۳۵ و ۵۰٪ آرد جو بدون پوشینه معنی دار بود. همچنین فاکتور مقاومت به کشش و کشش پذیری خمیر های ۳۵ و ۵۰٪ در تمام سطوح آنزیم به غیر از ۲٪ و SPI+۱ تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند، ولی روند کاهش و افزایش در هر سه اختلاط مشابه بود. نتایج اکستنسوگرافی نشان دهنده آنست که استفاده از آنزیم در حد ۰/۵ درصد و یا احتمالا کمتر، برای تغییر مقاومت به کشش کافی است و استفاده بیشتر از آن اثر قابل توجهی ندارد و لذا موجب اتلاف آنزیم می گردد.

جدول۳ –نتایج آزمون اکستنسوگرافی

MTG / ویژگی های کششی		مقاومت به کشش (سانتی متر)	کشش پذیری (سانتی متر)
(شاهد)	نان گندم	۱۸۵/۲۵ j	۱۹۲/۵ b
	نان ۲۰٪ آرد جو	۲۰۱/۲۵ i	۱۸۲/۵ d
	نان ۳۵٪ آرد جو	۲۴۶/۲۵ h	۲۰۲/۵ a
	نان۵۰٪ آرد جو	۲۷۲/۵ g	۱۸۶/۲۵ c
٪ ۰/۵	نان گندم	۲۷۰/۲۵ g	۱۴۲/۷۵ l
	نان ۲۰٪ آرد جو	۲۷۶/۲۵ g	۱۴۶/۲۵ k
	نان ۳۵٪ آرد جو	۲۳۶/۲۵ h	۱۷۶/۲۵ e
	نان۵۰٪ آرد جو	۲۷۴ g	۱۷۶/۲۵ e
٪۱	نان گندم	۲۲۴ h	۱۵۲/۷۵ i
	نان ۲۰٪ آرد جو	۲۳۱/۵ h	۱۴۹ J
	نان ۳۵٪ آرد جو	۳۰۲/۵ f	۱۷۲/۵ f
	نان۵۰٪ آرد جو	۳۰۲/۵ f	۱۵۲/۵ i
٪ ۱/۵	نان گندم	۲۹۲/۵ f	۱۳۶/۲۵ m
	نان ۲۰٪ آرد جو	۲۹۱/۲۵ f	۱۳۱/۲۵ n
	نان ۳۵٪ آرد جو	۳۰۰/۵ f	۱۳۶/۲۵ m
	نان۵۰٪ آرد جو	۳۰۶/۲۵ f	۱۴۶/۲۵ k
٪۲	نان گندم	۳۰۱ f	۱۳۱ n
	نان ۲۰٪ آرد جو	۳۰۴ f	۱۳۱/۵ n
	نان ۳۵٪ آرد جو	۳۵۶/۲۵ d	۱۳۲/۷۵ n
	نان۵۰٪ آرد جو	۳۰۲/۵ f	۱۴۲/۵ l
٪۱+SPI	نان گندم	۳۰۵/۲۵ f	۱۲۳/۵ o
	نان ۲۰٪ آرد جو	۳۱۶/۲۵ e	۱۲۵/۲۵ o
	نان ۳۵٪ آرد جو	۳۶۶/۲۵ c	۱۶۱/۲۵ h
	نان۵۰٪ آرد جو	۳۰۴ f	۱۳۶/۲۵ m
٪۱/۵+SPI	نان گندم	۳۰۹ f	۱۳۱/۲۵ n
	نان ۲۰٪ آرد جو	۳۰۹ f	۱۲۶/۲۵ o
	نان ۳۵٪ آرد جو	۳۷۶/۲۵ b	۱۶۶/۲۵ g
	نان۵۰٪ آرد جو	۳۸۶/۲۵ a	۱۴۹ j

* حروف غیر مشترک نشان دهنده ی اختلاف آماری در سطح ۰/۰۵ است.

۳-۴- اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و ایزوله پروتئینی سویا بر ویژگی های فارینوگرافی

آزمون فارینوگرافی بر روی نمونه‌های آرد گندم حاوی ۲۰، ۳۵ و ۵۰٪ از آرد جو بدون پوشینه و تیمار شده با آنزیم و ایزوله پروتئینی سویا انجام شد. نتایج در جداول ۴ نشان داده شده است. نتایج فارینوگرافی نشان داد که در نمونه های حاوی ۳۵ و ۵۰٪ آرد جو بدون پوشینه، زمان گسترش خمیر در نمونه های تیمار شده با آنزیم بیشتر از نمونه شاهد بوده است ولی در نمونه های ۲۰٪ و گندم این فاکتور در تیمار های حاوی آنزیم کمتر از نمونه ی شاهد می باشد. زمان گسترش خمیر در نمونه های گندم، ۲۰ و ۳۵٪ با افزایش آنزیم تا سطح ۲٪ کاهش می یابد ولی نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئینی سویا در فاکتور زمان گسترش تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند. در خمیر ۵۰٪ نمونه های حاوی آنزیم تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند. در نمونه های گندم، ۲۰ و ۳۵٪ تیمار های (۱٪+۳ SPI٪) و(۲٪+۳ SPI ٪) زمان گسترش خمیر نسبت به تیمار های ۱٪ و ۲٪ آنزیم بدون ایزوله پروتئینی سویا افزایش می یابد. باسمن و همکاران (۲۰۰۲) اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی را بر ویژگی های رئولوژیکی آرد گندم پر پروتئین و کم پروتئین بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که زمان گسترش خمیر در ابتدا با افزایش درصد آنزیم به ۰/۵٪ افزایش می یابد ولی با افزایش درصد آنزیم تا ۱/۵٪ این فاکتور کاهش پیدا می کند. در نمونه های حاوی ۳۵ و ۵۰٪ آرد جو بدون پوشینه، تیمار های حاوی ایزوله پروتئینی سویا دارای بیشترین میزان جذب آب هستند، ولی تیمار های حاوی آنزیم با نمونه شاهد تفاوت معنی داری ندارند. در نمونه های خمیر گندم و ۲۰٪ ، با افزایش درصد آنزیم جذب آب افزایش می یابد، ولی نمونه های حاوی ایزوله پروتئینی سویا دارای بیشترین میزان جذب آب هستند. افزایش جذب آب در اثر افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی را می توان به ایجاد اتصالات بیشتر و قوی‌تر، و در نتیجه شبکه‌ی پروتئینی گسترده‌تر توسط آنزیم مذکور نسبت داد. ایجاد شبکه پروتئینی قوی تر باعث می‌شود آب راحت تر و بیشتر درون شبکه گلوتنی جذب گلوتن گردد و جذب آب افزایش می‌یابد (لار و همکاران، ۲۰۰۰) و ایزوله پروتئینی سویا سوبسترای مناسبی را برای آنزیم فراهم می‌کند و امکان ایجاد این اتصالات را افزایش می‌دهد (باسمن و همکاران، ۲۰۰۲). در نمونه های خمیر گندم و ۲۰٪ آرد جو بدون پوشینه، با افزایش آنزیم تا ۱٪ پایداری خمیر افزایش می یابد ولی با افزودن مقادیر بیشتر، این فاکتور کاهش پیدا می‌کند و در آرد های حاوی ۵۰٪ آرد جو بدون پوشینه با افزایش آنزیم تا ۱/۵و ۲٪، پایداری خمیر افزایش می یابد. این پدیده را می توان به این شکل توجیه نمود که آرد های گندم و ۲۰٪ آرد جو بدون پوشینه نسبت به آرد گندم حاوی ۵۰٪ آرد جو بدون پوشینه به لحاظ وجود شبکه گلوتنی قوی تر است. بنابراین آرد ضعیف تر به سطوح بالاتری از آنزیم جهت پایداری بیشتر نیاز دارد ولی آرد قوی تر با افزودن مقادیر نا چیزی از آنزیم به پایداری مطلوب دست خواهد یافت. در تمام آرد ها با افزایش آنزیم تا ۰/۵٪ درجه ی نرم شدن خمیر کاهش یافت و خمیر قوی تر شد، بنابراین افزودن سطوح پائینی از آنزیم، می تواند به طور معنی داری بر ویژگی های رئولوژیکی خمیر اثر گذار باشد و سطوح بالاتر آنزیم، باعث تضعیف خمیر می شود. فاکتور مقاومت به مخلوط شدن با افزایش درصد آنزیم به ۱/۵٪ و ۲٪ به طور معنی داری افزایش یافت. ایزوله پروتئینی سویا در نمونه های گندم، ۲۰٪ و ۵۰٪ در ترکیب (۱٪+۳٪) باعث بهبود (کاهش) فاکتور مقاومت به مخلوط شدن در خمیر ها شد. ترکیب (۱/۵٪+۳٪) باعث افزایش این فاکتور شد و در واقع ویژگی های رئولوژیکی خمیر را تضعیف نمود. به بیان دیگر پروتئین‌های گلوتن گندم در حضور اتصالات بیش از اندازه در اثر افزودن آنزیم، ویژگی های عملکردی خود را از دست می دهد و حتی در حضور ایزوله پروتئینی سویا نیز این ویژگی‌ها بهبود نمی یابد (اعلمی و لیلاواتی، ۲۰۰۸). بار و همکاران، گزارش کردند که به دلیل تشکیل اتصالات عرضی بین پروتئین ها در خمیر، آنزیم بر ساختار شبکه گلوتنی و در نتیجه ویژگی های ویسکوالاستیک خمیر تاثیر می گذارد. آن ها همچنین اظهار کردند که در حضور درصد بالایی از آنزیم این اتصالات قوی تر و بیشتر می شود

و باعث آسیب های مکانیکی به شبکه گلوتنی و کاهش الاستیسیته می گردد.

کورایشی و همکاران نیز گزارش کردند که افزودن بیش از اندازه از آنزیم باعث شکننده (ترد) شدن شبکه پروتئینی و تضعیف ساختار گلوتن می شود. در خمیر های حاوی ۲۰ و ۳۵٪ آرد جو بدون پوشینه با افزایش درصد آنزیم به ۰/۵ ٪، فاکتور مقاومت به مخلوط شدن کاهش یافت و خمیر قوی تر شد، ولی در نمونه های حاوی ۵۰٪ از آرد جو بدون پوشینه تمام نمونه های حاوی آنزیم دارای فاکتور مقاومت به مخلوط شدن کمتری نسبت به نمونه شاهد بودند، به بیان دیگر با افزودن آنزیم خمیر ها قوی تر شدند. در این قسمت نیز مشاهده شد که آرد های ضعیف تر، به سطوح بالاتری از آنزیم به منظور قوی شدن نیاز دارند. در آرد های قوی تر مانند آرد گندم، ۲۰٪ و ۳۵٪ آرد جو بدون پوشینه، با افزایش میزان آنزیم از ۰/۵٪ به ۲٪، به شبکه گلوتنی آن ها آسیب های مکانیکی وارد می شود و خمیر تضعیف می گردد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که آنزیم تا سطوح مشخصی با ایجاد اتصالات جدید و شبکه های قوی تر و گسترده تر می تواند باعث افزایش میزان جذب آب و مقاومت و پایداری خمیر شود و همیشه افزودن مقادیر بالاتر از این آنزیم باعث افزایش کیفیت نمی شود. با توجه به نتایج این تحقیق می توان اعلام کرد که افزودن تا حداکثر ۰/۵ درصد آنزیم اثر مثبت دارد و نیازی به افزایش بیشتر نیست. البته مقدار آنزیم مورد نیاز، بسته به مقدار گلوتن و کیفیت آن می تواند متغیر باشد.

۴- نتیجه گیری کلی

آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی به دلیل ایجاد اتصالات عرضی بین اسید های آمینه لایزین و گلوتامین، و تشکیل شبکه گسترده پروتئینی می تواند بر ساختار شبکه گلوتنی و در نتیجه ویژگی های رئولوژیکی خمیر اثر بگذارد. این اثر، در آزمون اکستنسوگرافی به صورت افزایش مقاومت به کشش، و کاهش کشش پذیری مشخص شد. همچنین این آنزیم در سطوح مشخص باعث افزایش جذب آب و پایداری خمیر، و کاهش فاکتور مقاومت به مخلوط شدن، و در واقع بهبود ویژگی های خمیر شد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که این آنزیم تا سطوح مشخصی، با ایجاد اتصالات جدید و شبکه های قوی تر و گسترده تر می تواند باعث بهبود ویژگی های خمیر شود و همیشه افزودن مقادیر بالاتر از این آنزیم باعث افزایش کیفیت نمی گردد. همان گونه که ارائه شد جو بدون پوشینه دارای ویژگی های تغذیه ای مطلوبی است که می تواند برای بیماران قلبی- عروقی و دیابتی بسیار مفید باشد، بنابراین می توان از این آنزیم در تهیه نان جو که ویژگی های نانوایی ضعیف دارد استفاده کرد و نانی با ویژگی های عملگری و کیفیت مطلوب تولید نمود. حداکثر مقدار آنزیم مورد استفاده با توجه به نتایج این تحقیق ۰/۵ درصد است که البته با توجه به کیفیت و کمیت گلوتن موجود در خمیر، این مقدار می تواند تغییر کند. با توجه به اینکه آرد جو بدون پوشینه عاری از گلوتن است، ضرورت دارد پژوهش برای امکان استفاده از آن برای بیماران سلیاکی مورد ارزیابی قرار گیرد.

جدول ۴- نتایج آزمون فارینوگرافی خمیر

MTG / ویژگی ها		جذب آب (درصد)	زمان رسیدن (دقیقه)	زمان گسترش خمیر (دقیقه)	پایداری (دقیقه)	درجه نرم شدن (واحد BU)	مقاومت به مخلوط شدن (واحد BU)
شاهد)	نان گندم	۶۵/۲۵ e*	۱/۴۸ a	۳/۵۰ a	۳/۳۷ b	۱۶۰/۲۵ e	۳۷/۲۵ c
	نان ۲۰٪ آرد جو	۶۶/۲۵ d	۱/۲۸ a	۳/۰۶ a	۳/۳۷ b	۱۶۲/۲۵ e	۳۷/۲۵ c
	نان ۳۵٪ آرد جو	۶۶/۵۵ d	۱/۱۱ a	۲/۰۵ b	۴/۰۶ a	۱۳۲/۲۵ h	۳۲/۲۵ d
	نان ۵۰٪ آرد جو	۶۶/۱۵ d	۱/۴۵ a	۱/۳۵ c	۲/۵۶ b	۱۵۲/۲۵ f	۳۷/۲۵ c
٪ ۰/۵	نان گندم	۶۸/۲۵ c	۱/۱ a	۲/۲۲ b	۴/۱ a	۱۴۵/۲۵ g	۳۰/۲۵ d
	نان ۲۰٪ آرد جو	۶۷/۳ c	۱ a	۲/۲۵ b	۴/۰۶ a	۱۴۷/۲۵ g	۳۰ d
	نان ۳۵٪ آرد جو	۶۶/۰۵ d	۱/۶۱ a	۲/۵۶ b	۲/۳۳ b	۱۰۵/۱ i	۲۱ f
	نان ۵۰٪ آرد جو	۶۶/۳۲ d	۱/۲۵ a	۲/۲ b	۲/۴۵ b	۱۰۴ i	۲۲/۲۵ f
٪۱	نان گندم	۶۷/۲۵ c	۱/۱ a	۲/۰۷ b	۴/۲۵ a	۲۰۵/۲۵ d	۳۵/۱۲ c
	نان ۲۰٪ آرد جو	۶۷/۱۷ c	۱ a	۲/۵۶ b	۴/۱۷ a	۲۱۱ c	۳۷/۲۵ c
	نان ۳۵٪ آرد جو	۶۶/۱۵ d	۱/۵۲ a	۲/۴ b	۲/۷۲ b	۱۹۱ d	۴۲/۲۵ b
	نان ۵۰٪ آرد جو	۶۵/۴۵ e	۱/۶۱ a	۲/۰۵ b	۲/۲۲ b	۱۶۶/۲۵ d	۲۰ f
٪ ۱/۵	نان گندم	۶۸/۲۵ c	۰/۷۵ b	۱/۱ c	۲/۳۵ b	۲۵۲/۲۵ a	۴۰/۲۵ b
	نان ۲۰٪ آرد جو	۶۸/۲ c	۰/۵۶ b	۱ c	۲/۳۵ b	۲۳۷/۲۵ b	۴۲/۲۵ b
	نان ۳۵٪ آرد جو	۶۶ d	۱/۱۱ a	۲/۱۶ b	۲/۳۳ b	۲۰۴ d	۲۷/۲۵ e
	نان ۵۰٪ آرد جو	۶۵/۷۵ e	۱/۰۵ a	۲/۰۵ b	۳/۲۲ b	۱۶۱/۲۵ e	۲۲/۲۵ f
٪۲	نان گندم	۶۸/۲۵ c	۰/۶۷ b	۱/۳۷ c	۳/۱ b	۲۵۲/۵ a	۴۵/۱۲ a
	نان ۲۰٪ آرد جو	۶۸/۱۵ c	۰/۵۸ b	۱/۱ c	۲/۹۵ b	۲۴۱ a	۴۵/۲۵ a
	نان ۳۵٪ آرد جو	۶۶/۱۵ d	۱/۰۵ a	۲/۲ b	۲/۴ b	۲۰۰/۵ d	۳۰/۲۵ d
	نان ۵۰٪ آرد جو	۶۶/۱ d	۱/۴ a	۲/۲ b	۳/۴ b	۱۶۹/۷۵ d	۲۰/۲۵ f
٪۱+SPI	نان گندم	۷۴/۱ a	۱/۴۶ a	۲/۳۷ b	۲/۴۶ b	۲۴۲/۵ a	۳۰/۲۵ d
	نان ۲۰٪ آرد جو	۷۲/۱ b	۱/۳۸ a	۲/۶۲ b	۲/۲۸ b	۱۸۲/۵ d	۳۲/۲۵ d
	نان ۳۵٪ آرد جو	۷۱/۳۵ b	۱ a	۱/۲۲ b	۳/۰۵ b	۱۴۷/۲۵ g	۳۷/۲۵ c
	نان ۵۰٪ آرد جو	۷۲/۲ b	۱/۴ a	۲/۰۵ b	۲/۱۱ c	۱۷۳/۵ d	۲۲/۲۵ f
٪۱/۵+SPI	نان گندم	۷۴/۲۵ a	۱/۲۵ a	۲/۳۷ b	۳/۳۶ b	۲۲۲/۵ c	۳۵/۲۵ c
	نان ۲۰٪ آرد جو	۷۲/۱۵ b	۱/۰۵ a	۱/۲۲ b	۳/۰۶ b	۲۱۲/۵ c	۳۷/۲۵ c
	نان ۳۵٪ آرد جو	۷۱/۱۵ b	۱/۱۱ a	۲/۳۳ b	۳/۶۱ b	۲۱۰/۵ c	۳۵/۱ c
	نان ۵۰٪ آرد جو	۷۱/۹۵ b	۱/۱۱ a	۲/۱۵ b	۳/۲۲ b	۱۹۲/۵ d	۳۶/۲۵ c

* حروف غیر مشترک نشان دهنده ی اختلاف آماری در سطح ۰/۰۵ است.

۵- تشکر و قدردانی

انجام این تحقیق بدون یاری کارشناس محترم گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان جناب آقای مهندس بهمن بهرامی و کارشناس محترم گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز سرکار خانم مهندس شفیعی امکان پذیر نبود که کمال تشکر و قدردانی را از ایشان داریم.

۶- منابع مورد استفاده

ابوتراب ن، ۱۳۸۶. بررسی خواص و ترکیب آرد بلوط و امکان بهبود کیفیت نان حاصل از آن. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

فروزان تبار م، ۱۳۸۴. بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی خمیر و نان حاصل از مخلوط آرد گندم و ترتیکاله. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

AACC, 2000. Approved Methods of the AACC. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN.

Aalami M, and Leelavathi K, 2008. Effect of microbial transglutaminase on spaghetti quality. Journal of Food Science 73:306-312.

Basman A, Koksel H and Ng O K W, 2002. Effects of increasing levels of transglutaminase on the rheological properties and bread quality characteristics of two wheat flours. Euro Food Res and Tech 215: 419-424.

Bauer N, Koehler P, Wieser H and Schieberle P, 2003. Studies on effect of microbial transglutaminase on gluten properties of wheat, rheological properties. Cereal Chemistry 80: 787-790.

Bhatty RS, 1999. The Potential of Hull-less Barley. Cereal Chemistry 76(5): 589-599.

Caballero P A, Bonet A, Rosell C M, and Gomez M, 2005. Effect of transglutaminase on the rheological and thermal properties of insect damaged wheat flour. Journal of Cereal Science 42: 93-100.

Gerrard J A, Fayle S E, Wilson A J, Newberry MP, Ross M, and Kavale S, 1998. Dough properties and crumb strength of white pan bread as affected by microbial transglutaminase. Journal of Food Science 63: 472-475.

Grando, S, 2002. Barley, importance, uses and local knowledge. ICARDA, Aleppo, Syria. ISBN: 92: 9127-173-0

Koksel H, Sivri D, Ng P K W, and Steffe J F, 2001. Effects of Transglutaminase Enzyme on fundumental Rheological Properties of Sound and Bug – Damaged Wheat Flour Doughs. Cereal Chemistry 78: 26-30.

Kuraishi C, Yamazaki K, and Susa Y, 2001. Transglutaminase: its utilization in the food industry. Food Reviews International 17: 221-246.

Larre C, Denery-papini S, Popineau Y, Deshayes G, Desserme C, and Lefebvre J, 2000. Biochemical analysis and rheological properties of gluten modified by transglutaminase. Cereal Chemistry 77: 32-38.

Motoki M, and Seguro K, 1998. Transglutaminase and its use for food processing. Trends in Food Science and Technology 9: 204-210.